

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 1999年 1月26日  
Date of Application:

出願番号 平成11年特許願第017254号  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 1999-017254]

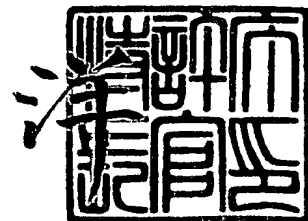
出願人 TDK株式会社  
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2004年12月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願

【整理番号】 P00012

【提出日】 平成11年 1月26日

【あて先】 特許庁長官 伊佐山 建志 殿

【国際特許分類】 H01F 1/34

【発明の名称】 非可逆回路素子の相互変調積を制御する方法

【請求項の数】 17

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケー株式会社内

【氏名】 額賀 昌子

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケー株式会社内

【氏名】 佐藤 直義

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケー株式会社内

【氏名】 辺見 栄

【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【氏名又は名称】 ティーディーケー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100081606

【郵便番号】 125

【住所又は居所】 東京都葛飾区東金町 1 丁目 3 8 番 6 号 宇羽野ビル 阿部国際特許事務所

【弁理士】

【氏名又は名称】 阿部 美次郎

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第103194号

【出願日】 平成10年 4月14日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014513

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 非可逆回路素子の相互変調積を制御する方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非可逆回路素子の相互変調積を制御する方法であって、  
前記非可逆回路素子は、少なくとも 1 つのフェリ磁性体を含んでおり、  
前記フェリ磁性体の強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を制御することによって前記相互変調積を制御する。

【請求項 2】 請求項 1 に記載された方法であって、  
前記強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ は、前記フェリ磁性体の気孔率を制御することによって制御される。

【請求項 3】 請求項 1 に記載された方法であって、  
前記強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ は、前記フェリ磁性体の磁気異方性を制御することによって制御される。

【請求項 4】 請求項 1、2 または 3 の何れに記載された方法であって、  
前記強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を、15 (Oe) より小さい値に選定する。

【請求項 5】 請求項 1、2、に記載された方法であって、  
前記相互変調積の絶対値を、75 dBc 以上に制御する。

【請求項 6】 請求項 1、2、3、4 または 5 の何れかに記載された方法であって、

前記フェリ磁性体は、一般式  $(Y_{3-2x-z+w}Ca_{2x+z})(Fe_{5-x-y-z-w}V_xAl_yZr_z)O_{12}$  で表される組成を有し、

x、y、z、w の値が

$$0 \leq x \leq 0.7$$

$$0 < y \leq 0.7$$

$$0.05 \leq z \leq 0.3$$

$$0.01 \leq w \leq 0.03$$

を満たす。

【請求項 7】 請求項 6 に記載された方法であって、  
飽和磁化  $4\pi Ms$  の値が 1250 Gauss 付近であるとき

$$0 \leq x \leq 0.42$$

$$0 \leq y \leq 0.44$$

$$0.08 \leq z \leq 0.2$$

を満たす。

【請求項 8】 請求項 6 に記載された方法であって、飽和磁化  $4 \pi M_s$  の値が 1 7 5 0 Gauss 付近であるとき、

$$0 \leq x \leq 0.1$$

$$0 \leq y \leq 0.1$$

$$z = 0.1$$

を満たす。

【請求項 9】 請求項 6 に記載された方法であって、飽和磁化  $4 \pi M_s$  の値が 7 5 0 Gauss 付近であるとき、

$$0.3 \leq x \leq 0.7$$

$$0 \leq y \leq 0.42$$

$$0.2 \leq z \leq 0.3$$

を満たす。

【請求項 10】 一般式  $(Y_{3-2x-z+w}Ca_{2x+z})(Fe_{5-x-y-z-w}V_xAl_yZr_z)O_{12}$  で表される組成を有するフェリ磁性材料であって、

$x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$  の値が

$$0 \leq x \leq 0.7$$

$$0 < y \leq 0.7$$

$$0.05 \leq z \leq 0.3$$

$$0.01 \leq w \leq 0.03$$

を満たす。

【請求項 11】 請求項 10 に記載されたフェリ磁性材料であって、飽和磁化  $4 \pi M_s$  の値が 1 2 5 0 Gauss 付近であるとき

$$0 \leq x \leq 0.42$$

$$0 \leq y \leq 0.44$$

$$0.08 \leq z \leq 0.2$$

を満たす。

【請求項 1 2】 請求項 1 0 に記載されたフェリ磁性材料であって、飽和磁化  $4 \pi M_s$  の値が 1 7 5 0 Gauss 付近であるとき、

$$0 \leq x \leq 0.1$$

$$0 \leq y \leq 0.1$$

$$z = 0.1$$

を満たす。

【請求項 1 3】 請求項 1 0 に記載されたフェリ磁性材料であって、飽和磁化  $4 \pi M_s$  の値が 7 5 0 Gauss 付近であるとき、

$$0.3 \leq x \leq 0.7$$

$$0 \leq y \leq 0.42$$

$$0.2 \leq z \leq 0.3$$

を満たす。

【請求項 1 4】 請求項 1 0 乃至 1 3 の何れかに記載されたフェリ磁性材料であって、

強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  が 1 5 (Oe) より小さい。

【請求項 1 5】 中心導体と、少なくとも 1 つのマグネットと、少なくとも 1 つのフェリ磁性体とを含む非可逆回路素子であって、

前記中心導体及びフェリ磁性体は、互いに向きあって配置され、

前記マグネットは、前記中心導体及び前記フェリ磁性体に直流磁場を印加し、

前記フェリ磁性体は、請求項 1 0 乃至 1 4 の何れかに記載されたフェリ磁性材料である。

【請求項 1 6】 請求項 1 5 に記載された非可逆回路素子であって、相互変調積の絶対値が 7 5 dBc 以上である。

【請求項 1 7】 請求項 1 5 または 1 6 の何れかに記載された非可逆回路素子であって、

分布定数型、集中定数型または基板型の何れかである。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、非可逆回路素子の相互変調積を制御する方法、この方法を実施するのに好適なフェリ磁性材料及びこれを用いた非可逆回路素子に関する。

**【0 0 0 2】****【従来の技術】**

近年、携帯電話及びP H S など移動体通信分野では、世界的にC D M A方式の導入が進んでいる。それに伴い、移動体通信用に使用されるアイソレータやサーキュレータ等の非可逆回路素子では、従来のアナログ方式では問題にならなかった相互変調積I M Dが重要視されるようになった。相互変調積I M Dとは非線形デバイスに2信号以上が供給されたときに、付加的に現れる不要な信号の大きさを表す。例えば、周波数 $f_1$ 、 $f_2$ の2信号を、非可逆回路素子に同時に入力した時、入力された周波数 $f_1$ 、 $f_2$ の2信号以外の周波数成分、例えば周波数 $(2f_1 - f_2)$ 及び $(2f_2 - f_1)$ を持つサイドバンドが現れる。非可逆回路素子の場合、このサイドバンドレベルを、ある値以下に抑えないと、混信やノイズの発生原因となる。

**【0 0 0 3】**

相互変調積I M Dは、非可逆回路素子に備えられるマグネットから、フェリ磁性体に対して、十分に強い直流磁場を与えることにより、その発生を抑制することができる。しかしながら、その副作用として、使用帯域が高周波側へ移動し、かつ、狭まることから、非可逆回路素子としての性能が劣化する。また、非可逆回路素子の小型化及び薄型化の要求もあり、十分な直流磁界を印加することができない。

**【0 0 0 4】**

また、携帯電話及びP H Sなどの小型移動体通信装置はバッテリー駆動であるため、長時間の動作には低損失のデバイスを使用することが不可欠である。これらの装置に、非可逆回路素子が搭載される場合には、同様に低損失特性が要求される。端末局だけではなく、基地局においても、カバーするエリアが小さいため、小電力の増幅器が使用されるようになり、基地局用に使用される非可逆回路素子についても、低損失特性が同様に要求される。

## 【0 0 0 5】

さらに、非可逆回路素子に用いられるフェリ磁性材料において、重要とされる特性として、磁氣的損失項となる強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ が十分小さいこと、非可逆回路素子の使用周波数に対応して、室温における飽和磁化 $4 \pi M_s$ の値を一列で任意に選択できることがあげられる。

## 【0 0 0 6】

また非可逆回路素子では、前記材料はマグネットと組み合わせて使用されるため、飽和磁化 $4 \pi M_s$ が、マグネットの温度特性を補償するような温度係数を有することが理想とされる。飽和磁化 $4 \pi M_s$ の温度係数とキュリー温度 $T_c$ とは密接な相関があり、一般的に、温度変化の小さなマグネットに対応して、高いキュリー温度 $T_c$ を有することが望まれる。

## 【0 0 0 7】

特公昭56-31288号公報は、 $Ln$ 及び $Al$ で置換した $Y-CaV$ -鉄ガーネットフェライトにおいて、その組成比を変えることにより、飽和磁化 $4 \pi M_s$ の値を任意に調整する技術を開示している。

## 【0 0 0 8】

しかしながら、上記材料はキュリー温度 $T_c$ が $160^{\circ}C$ 以下と低いため、非可逆回路素子として、限定された温度条件下で、使用せざるを得ないという実用上問題がある。また $Ln$ は資源的に希少であることから、得られるフェライトも高価である。

## 【0 0 0 9】

## 【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、十分な直流磁場を印加できない場合であっても、相互変調積 $IMD$ を小さくできる相互変調積制御方法、この方法を実施するのに好適なフェリ磁性材料及びこれを用いた非可逆回路素子を提供することである。

## 【0 0 1 0】

本発明のもう一つの課題は、非可逆回路素子の小型化及び薄型化に有効な相互変調積制御方法、この方法を実施するのに好適なフェリ磁性材料及びこれを用いた非可逆回路素子を提供することである。



## 【0 0 1 1】

本発明の更にもう一つの課題は、温度特性に優れた安価なフェリ磁性材及びこのフェリ磁性材料を用いた非可逆回路素子を提供することである。

## 【0 0 1 2】

## 【課題を解決するための手段】

上述した課題を解決するため、本発明は、非可逆回路素子の相互変調積を制御するに当たり、前記非可逆回路素子に含まれるフェリ磁性体の強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  を制御する。これによって相互変調積  $I M D$  を制御する。この制御方法によれば、十分な直流磁場を印加できない場合であっても、相互変調積  $I M D$  を改善できる。従って、非可逆回路素子の小型化及び薄型化の要求に充分に応えることができる。

## 【0 0 1 3】

非可逆回路素子は、フェリ磁性体と、それに直流磁場を印加するマグネットを含んでいる。図 1 はマグネットによる直流磁場の強さと、相互変調積  $I M D$  との関係を示す。図 1 に示すように、フェリ磁性体に対するマグネット直流磁場の強さが大きくなると、相互変調積  $I M D$  は低下する。従って、フェリ磁性体に対して、十分に強い直流磁場を与えることにより、相互変調積  $I M D$  の発生を抑制することができる。

## 【0 0 1 4】

本発明者らは、上述したように、フェリ磁性体に対するマグネットの直流磁場の強さが大きくなると、相互変調積  $I M D$  が低下するのは、強い直流磁場がフェリ磁性体内の気孔や異相周辺の反磁場及び結晶磁気異方性等による影響に勝り、磁性体内のスピンが歳差運動が一様方向に揃って正円運動をしているためで、逆に、磁場の強さが低下すると相互変調積  $I M D$  が大きくなるのは、直流磁場の強さに基づくスピン方向の制御力自体の低下と、前述の反磁場及び結晶磁気異方性等による影響が顕著になることとによって、スピンの歳差運動の軌跡が歪んだ円運動を描くためと推測した。歪んだ円運動により、入力された高周波磁界と強磁性共鳴現象によって生じる高周波磁化とは非線形関係を結ぶこととなるからである。

## 【0015】

しかしながら、現実には、非可逆回路素子の動作性能の低下、小型化及び薄型化の要求により、十分な直流磁界を印加することができない。

## 【0016】

この問題点を解決する手段として、本発明では、非可逆回路素子に含まれるフェリ磁性体の強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を制御することによって、相互変調積 IMD を制御する。

## 【0017】

上述したように、気孔や異相周辺の反磁場、及び、磁気異方性等の影響により、スピンの歳差運動が歪みを受け、相互変調積 IMD の発生を誘起するならば、強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を、相互変調積 IMD と関連した材料定数として考えることができる。何故なら、強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ は磁氣的損失成分の指標として上述の影響を受けること、スピンの歳差運動に対する気孔や異相周辺の反磁場及び磁気異方性の影響を実測することが困難であること等があるからである。一般に、多結晶における強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ は下記のように表すことができる。

## 【0018】

$$\Delta H = \Delta H_i + \Delta H_p + \Delta H_a \quad (1)$$

ここで、 $\Delta H_i$  は同一組成における単結晶の半値幅、 $\Delta H_p$  は試料中に存在する気孔及び非磁性相の寄与分、 $\Delta H_a$  は結晶磁気異方性の寄与分である。

## 【0019】

単結晶の強磁性共鳴半値幅 $\Delta H_i$  は 0.5 (Oe) といわれており、多結晶の強磁性共鳴半値幅を論ずる場合は無視できる。そこで、以下、気孔による寄与分 $\Delta H_p$ 、及び、異方性による寄与分 $\Delta H_a$  について論ずる。

## 【0020】

<気孔周辺の反磁場の影響について>

気孔による寄与分 $\Delta H_p$  に関しては、E. シュローマン (Shlomann) によって以下の関係式 (2) が得られている。

## 【0021】

$$\Delta H_p = 1.47 (4\pi M_s)_p \quad (2)$$

ここで、 $p$  は気孔率を表す。

#### 【0 0 2 2】

図 2 は Y-A l - 鉄ガーネットフェライト (Y-A l - I G) における気孔率  $p$  と強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  との関係を示している。気孔率 0 % の時の強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  は  $(\Delta H_i + \Delta H_a)$  であるから、気孔による寄与分  $\Delta H_p$  は、切片と  $(\Delta H_i + \Delta H_a)$  との差となる。

#### 【0 0 2 3】

図 3 は気孔による寄与分  $\Delta H_p$  と相互変調積 I M D との関係を示す図である。相互変調積 I M D の測定に当たり、分布定数型アイソレータを用い、このアイソレータに対して、周波数 1 9 6 0 . 0 M H z の信号と、周波数 1 9 6 0 . 1 M H z の信号の 2 信号を入力した。入力電力は 1 波当たり 3 6 d B m とした。アイソレータのフェリ磁性体としては、Y-A l - 鉄ガーネットフェライト (Y-A l - I G) を用いた。

#### 【0 0 2 4】

図 3 に見られるように、相互変調積 I M D は、気孔による寄与分  $\Delta H_p$  の増減とともに、ほぼ直線的に増減する。即ち、気孔による寄与分  $\Delta H_p$  を制御することによって、相互変調積 I M D を制御することができる。

#### 【0 0 2 5】

気孔による相互変調積 I M D の発生は、次のように推論できる。即ち、外部から直流磁場を加えた場合、気孔の周りで反磁場が生じ、その影響でスピンの歳差運動が歪んだ円を描く。このような回転運動により、入力された高周波磁界と、強磁性共鳴現象によって生じる高周波磁化とが、非線形関係を結ぶというものである。

#### 【0 0 2 6】

<異方性による寄与分  $\Delta H_a$  について>

異方性による寄与分  $\Delta H_a$  は、

$$\Delta H_a \propto (K_1)^2 / (M_s)^3 \quad (3)$$

と表される。ここで、 $K_1$  は結晶磁気異方性定数、 $M_s$  は飽和磁化の値を表す。

#### 【0 0 2 7】

表 1 は飽和磁化が 1 2 5 0 Gauss 付近で、Z r 置換量の異なる Y - C a V - Z r 置換鉄ガーネットフェライトの各特性値を示す。

表 1

組 成	$4 \pi M_s$ (Gauss)	キュリー点 ( $^{\circ}\text{C}$ )	気孔率 (%)	$\Delta H$ (Oe)
$\text{Y}_{2.42}\text{Ca}_{0.6}\text{Fe}_{4.68}\text{V}_{0.3}\text{O}_{12}$	1243	278	0.3	34
$\text{Y}_{2.3}\text{Ca}_{0.72}\text{Fe}_{4.59}\text{V}_{0.33}\text{Zr}_{0.06}\text{O}_{12}$	1252	264	0.3	30
$\text{Y}_{2.22}\text{Ca}_{0.8}\text{Fe}_{4.53}\text{V}_{0.35}\text{Zr}_{0.1}\text{O}_{12}$	1214	259	0.3	20
$\text{Y}_{2.06}\text{Ca}_{0.96}\text{Fe}_{4.4}\text{V}_{0.38}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_{12}$	1215	233	0.3	10以下

## 【0 0 2 8】

Z r 置換は、Machidaらによって、磁気異方性を低下させるのに効果のあることが報告されている。表 1 において、各試料とも、飽和磁化及び気孔率がほぼ等しい。前掲の式 (2) によれば、気孔率が 0. 3 % で、飽和磁化が 1 2 5 0 G a u s s のとき、気孔による寄与分  $\Delta H_p$  は、約 6 (O e) となり、各資料において等しい。従って、表 1 中における各試料間の強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  の違いは、Z r 置換量による磁気異方性の変化によって生じた  $\Delta H_a$  項の相違に起因するものと考えることができる。

## 【0 0 2 9】

図 4 は  $\Delta H_a$  の異なる試料における相互変調積 I M D の電力依存性を示す特性図である。相互変調積 I M D の測定に当たっては、集中定数型アイソレータを用い、入力周波数 9 6 0 M H z 及び 9 6 0 . 1 M H z の 2 信号を入力した。入力電力は一波当たりの値として表示してある。 $\Delta H_a$  の大きな試料、即ち、結晶磁気異方性の大きな試料程、全電力範囲において、大きな相互変調積 I M D が発生している。また、異方性の小さい試料程、電力変化に対して敏感で、電力依存の度合いが大きい。つまり、異方性の小さい試料は、小電力側では、優れた相互変調積特性を示すが、測定電力範囲よりも大電力になると、相互変調積 I M D が急激に劣化して、異方性の大きな試料の特性をも越えて、劣化してしまうことが懸念される。このことは、フェリ磁性体の材質を変え、その磁気異方性の程度を制御することにより、異方性による寄与分  $\Delta H_a$  を変え、相互変調積 I M D が制御できることを意味する。

## 【0 0 3 0】

磁気異方性による寄与分 $\Delta H_a$ と、相互変調積 IMD との関係は次のように推論できる。即ち、小電力の信号を入力した場合、磁気異方性は、気孔周りの反磁場と同様に、スピンの歳差運動を歪ませる、従って、小電力範囲では、異方性の小さな材料を使用したアイソレータの方が、優れた相互変調積特性を示すことになる。しかしながら、入力電力が増大して行くと、スピンの歳差運動の振幅が増大し、隣接するスピン間の相互作用が働き、スピン波が励起される。これは、スピン全体の一様な歳差運動を阻害し、非線形特性を生じる原因となる。スピン波の励起は、異方性が小さく、キュリー点の低い材料程、発生し易いとされており、異方性の小さい材料程、電力依存の度合いが大きいという実験結果は、この現象を反映しているものと考えられる

### 【0031】

上述のように、フェリ磁性体の気孔率及び磁気異方性を制御することにより、相互変調積 IMD を制御することができる。相互変調積 IMD を小さくするには、材料定数としては、強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を小さくすること、即ち、フェリ磁性体の気孔率または磁気異方性を小さくすればよいことになる。

### 【0032】

強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ に關与する気孔率及び磁気異方性のうち、磁気異方性はフェリ磁性体の材料特性によって定まるから、フェリ磁性体の組成を変えることにより、強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を制御し、相互変調積 IMD を制御できる。

### 【0033】

次に、相互変調積 IMD の発生を抑制するのに適したフェリ磁性体の組成について述べる。そのようなフェリ磁性体は、一般式  $(Y_{3-2x-z+w}Ca_{2x+z})(Fe_{5-x-y-z-w}V_xAl_yZr_z)O_{12}$  で表される組成において、

x、y、z、w の値が

$$0 \leq x \leq 0.7$$

$$0 < y \leq 0.7$$

$$0.05 \leq z \leq 0.3$$

$$0.01 \leq w \leq 0.03$$

を満たす Y-鉄ガーネットフェライトである。

## 【0034】

上記組成のフェリ磁性材料は、15 (Oe) よりも小さな強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を有しており、相互変調積 IMD の発生を抑制するのに効果がある。しかも、飽和磁化  $4\pi Ms$  の値を任意に調整することが可能であり、かつ、比較的の高いキュリー温度  $T_c$  を有する。強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ が15 (Oe) よりも小さい領域では、相互変調積 IMD を、アイソレータの使用上、殆ど問題とならない $-75\text{ dBc}$ 以下 (絶対値  $75\text{ dBc}$  以上) に低下させることができる。

## 【0035】

キュリー温度  $T_c$  に示される磁性の熱的安定性と、磁気損失項である強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ を小さくすることは、通常、相反する要求とされる。本発明による上記組成を持つ材料によれば、このような相反する関係にあるキュリー温度  $T_c$  と強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ との間に調和を持たせ、両者の実用的要求を同時に満たすことができる。

## 【0036】

上記一般式において、 $Z_r$  は、 $I_n$  と非常に似通った特性を呈し、かつ、 $I_n$  に比べて安価である。また、 $V$ 、 $A_l$ 、 $Z_r$  の複合置換により、各元素を置換することで生じる長所と短所を互いに補うような置換比を選択して、損失特性と温度特性の両特性を、良好な値に設定することができる。

## 【0037】

さらに、上記化学式の  $w$  項の範囲において、ガーネット構造のみを有し、粒径が  $15\text{ }\mu\text{m}$  以上の緻密な結晶体が得られた。上記範囲以外では、ガーネット相以外の異相が生じてしまうため好ましくない。

## 【0038】

また、置換元素として用いた  $V$ 、 $A_l$ 、 $Z_r$  の置換量と室温における飽和磁化  $4\pi Ms$  との関係は、簡易的に下記の実験式で推測することができる ( $0 \leq z \leq 0.3$  の範囲で  $\pm 7\%$ )。

## 【0039】

$$4\pi Ms = 1780 - 1750x - 1400y + 1000z - 1200z^2$$

これにより、各置換元素の置換量と飽和磁化  $4\pi Ms$  との関係から、飽和磁化  $4$

$4\pi M_s$  が同程度の組成間の材料特性の比較が可能である。

#### 【0 0 4 0】

##### 【発明の実施の形態】

##### 実施例 1

原材料 $Y_2O_3$ 、 $CaCO_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $V_2O_5$ 、 $Al(OH)_3$ を、焼成後に目的組成 ( $Y_{3-2x-z+w}Ca_{2x+z}(Fe_{5-x-y-z-w}V_xAl_yZr_z)O_{12}$ ) となるように秤量し、ボールミルにて 20 時間湿式混合した後、1100～1200℃で 4 時間空气中で仮焼し、仮焼物を得た。この仮焼物を再度ボールミルに入れ、20 時間湿式粉碎を行った後、圧縮成型を行った。得られた成型物を、各組成に対して強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ が最小で、粒径が $1.5\mu m$ 以上になるような最適温度を1250～1450℃の間で選択し、酸素中で、6 時間の焼成を行った。このようにして得られた焼結体は、X線回折の結果、ガーネット単相であることを確認した。

#### 【0 0 4 1】

強磁性共鳴半値幅 $\Delta H$ は、焼結試料の断片から、ボンド法により、直径1.0 mmの球状試料を作り、10 GHzにて、反射法により測定した。また、飽和磁化 $4\pi M_s$ とキュリー温度 $T_c$ は振動型磁力計を用いて測定した。前述の実験式に基づき、飽和磁化 $4\pi M_s$ が1250 Gauss付近の組成について、得られた結果を表2に示す。表2において、No. 1～18は測定に供された焼結試料の番号を示す。なお、 $w$ は、 $0.01 \leq w \leq 0.03$ の範囲になるようにした。

表 2

No.	x	y	z	x+y	$4\pi M_s$ (G)	$T_c(^{\circ}C)$	$\Delta H(Oe)$
1	0	0.38	0	0.38	1230	224	45
2	0.1	0.3	0.5	0.4	1280	62	<15
3	0	0.5	0.4	0.5	1235	141	<15
4	0.12	0.38	0.4	0.4	1230	148	<15
5	0.24	0.25	0.4	0.49	1230	156	<15
6	0.35	0.13	0.4	0.48	1219	163	<15
7	0.47	0	0.4	0.47	1220	169	<15
8	0.1	0.3	0.3	0.4	1220	180	<15
9	0	0.44	0.2	0.44	1280	191	<15
10	0.1	0.33	0.2	0.43	1286	199	<15
11	0.21	0.22	0.2	0.43	1279	207	<15
12	0.31	0.11	0.2	0.42	1275	217	<15
13	0.42	0	0.2	0.42	1269	225	<15
14	0	0.4	0.08	0.4	1250	223	<15
15	0.09	0.3	0.08	0.39	1238	233	<15
16	0.19	0.2	0.08	0.39	1230	239	<15
17	0.29	0.1	0.08	0.39	1215	252	<15
18	0.38	0	0.08	0.38	1210	259	<15

## 【0 0 4 2】

No. 1 は従来材の Y-A l -鉄ガーネットフェライトで、飽和磁化  $4\pi M_s$  が 1 2 5 0 Gauss の材料である。No. 2 ~ 1 8 も、飽和磁化  $4\pi M_s$  が 1 2 5 0 Gauss 付近の値を呈する。

## 【0 0 4 3】

相互変調積 IMD に関与する強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  は、No. 1 が 4 5 (O e) であるのに対し、No. 2 ~ 1 8 では、1 5 (O e) よりも小さい。従って、相互変調積 IMD に関する限りは、No. 2 ~ 1 8 の何れも、従来品である No. 1 より改善されている。

## 【0 0 4 4】

一方、温度特性に関与するキュリー温度  $T_c$  は、No. 1 では 2 2 4  $^{\circ}C$  であるのに対し、No. 2 ~ 8 では、それよりもかなり低い値になっている。大まかな観点からいえば、Z r 置換量が多いほど、キュリー温度  $T_c$  が低くなる。また Z r の置換量が一定の場合、A l より V の置換量の割合が大きい程キュリー温度  $T_c$  は



高くなる。

#### 【0 0 4 5】

従来品であるNo. 1 との比較において、相互変調積 I M D の抑制効果とともに、温度特性の改善効果を得ることができる組成は、 $0.08 \leq z \leq 0.2$ 、 $0 \leq x \leq 0.42$ 、 $0 \leq y \leq 0.44$  を満たす範囲と見ることができる。ここで、好ましくは、 $x$  及び  $y$  は、 $(x + y)$  が  $0.38 \sim 0.44$  の範囲となるように定める。

#### 【0 0 4 6】

##### 実施例 2

飽和磁化  $4 \pi M_s$  を  $1750 \text{ Gauss}$  付近にもつ組成について、実施例 1 と同様にして、焼結試料を作製し、その特性を測定した。得られた結果を表 3 に示す。表 3 において、No. 21 ～ 26 は測定に供された焼結試料の番号を示す。No. 21 は無置換の従来の Y-鉄ガーネットフェライトである。

#### 【0 0 4 7】

相互変調積 I M D に関与する強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  は、No. 21 が  $45 \text{ (Oe)}$  であるのに対し、No. 22 ～ 26 では  $15 \text{ (Oe)}$  よりも小さい。従って、相互変調積 I M D に関する限りは、No. 22 ～ 26 の何れも、従来品である No. 21 より改善されている。

#### 【0 0 4 8】

一方、キュリー温度  $T_c$  は、No. 21 では  $275^\circ\text{C}$  であるのに対し、No. 22 ～ 26 ではそれより低い値になっている。No. 22 ～ 26 の内、No. 22、26 のキュリー温度  $T_c$  は  $261^\circ\text{C}$  であり、No. 21 と殆ど遜色のない値を示している。

#### 【0 0 4 9】

表 3 のデータをまとめると、従来品である No. 21 との比較において、相互変調積 I M D の抑制効果が得られ、かつ、遜色のない温度特性を得ることができる最適実施例の組成は、 $z = 0.1$ 、 $0 \leq x \leq 0.1$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$  を満たす範囲であることが分かる。好ましくは、 $x$  及び  $y$  は、 $(x + y)$  が  $0.05 \sim 0.06$  の範囲となるように定める。

表 3

No	x	y	z	x+y	$4\pi Ms$ (G)	$T_c(^{\circ}C)$	$\Delta H(Oe)$
21	0	0	0	0	1780	275	25
22	0.05	0	0.1	0.05	1740	261	<15
23	0.12	0	0.2	0.12	1700	238	<15
24	0.14	0	0.3	0.14	1720	215	<15
25	0.15	0	0.4	0.15	1715	196	<15
26	0	0.06	0.1	0.06	1800	261	<15

## 【0050】

## 実施例 3

飽和磁化  $4\pi Ms$  が 750 Gauss 付近である組成について、実施例 1 と同様に、焼結試料を作製し、その特性を測定した。得られた結果を表 4 に示す。試料 No. 31 は従来材の Y-A1-鉄ガーネットフェライトで、750 Gauss の飽和磁化  $4\pi Ms$  を有する材料である。No. 32～36 も、750 Gauss の飽和磁化  $4\pi Ms$  を有する材料である。

## 【0051】

相互変調積 IMD に関与する強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  は、No. 31 が 30 (Oe) であるのに対し、No. 33 は 15 (Oe) 未満、No. 38～43 は 15 (Oe) 以下である。

## 【0052】

一方、キュリー温度  $T_c$  は、No. 31 では 175℃であるのに対し、No. 34 では 179℃、No. 40～42 では、175℃よりも高い 177～196℃の範囲にある。

## 【0053】

従って、飽和磁化  $4\pi Ms$  が 750 Gauss 付近である場合、No. 31 との比較において、相互変調積 IMD の抑制効果得られ、かつ、遜色のない温度特性を得ることができる組成は、 $0.2 \leq z \leq 0.3$ 、 $0.3 \leq x \leq 0.7$ 、 $0 \leq y \leq 0.42$  を満たす範囲である。好ましくは、x 及び y は、 $(x+y)$  が 0.70～0

。 7 5 の範囲となるように定める。

表 4

No.	x	y	z	x+y	$4\pi Ms$ (G)	$T_c(^{\circ}C)$	$\Delta H(Oe)$
31	0	0.68	0	0.68	750	175	30
32	0.59	0	0	0.59	765	273	60
33	0	0.79	0.1	0.79	765	164	<15
34	0.16	0.59	0.1	0.75	760	179	18
35	0.32	0.39	0.1	0.71	755	207	30
36	0.48	0.19	0.1	0.67	758	226	39
37	0.63	0	0.1	0.63	740	246	45
38	0	0.84	0.2	0.84	760	135	<15
39	0.17	0.63	0.2	0.80	770	155	<15
40	0.33	0.42	0.2	0.75	780	177	<15
41	0.5	0.21	0.2	0.71	775	196	15
42	0.70	0	0.3	0.70	740	188	<15
43	0.71	0	0.4	0.71	752	159	<15

## 【0 0 5 4】

## 実施例 4

(Y<sub>2.58</sub>C a<sub>0.46</sub>) (F e<sub>4.49</sub>V<sub>0.19</sub>Z r<sub>0.08</sub>A l<sub>0.2</sub>) O<sub>12</sub>

(x = 0. 1 9、y = 0. 2、z = 0. 0 8、w = 0. 0 2)

の組成を有する本発明に係るフェリ磁性材料を、アイソレータに使用した応用例について示す。上述した組成のフェリ磁性材料の特性は、飽和磁化  $4\pi Ms$  が 1 2 3 0 Gauss、キュリー温度  $T_c$  が 2 3 9 °C、強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  が 1 5 O e 以下であった。これを基板として、1. 9 G H z 帯分布定数型アイソレータ A を作製した。

## 【0 0 5 5】

比較のため、従来材の Y - A l - 鉄ガーネットフェライトを用いて、アイソレータ B を作製した。この Y - A l - 鉄ガーネットフェライトの特性は、飽和磁化  $4\pi Ms$  が 1 2 5 0 Gauss、キュリー温度  $T_c$  が 2 4 0 °C、強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  が 4 5 (O e) であった。

## 【0 0 5 6】

図 5 は上述したアイソレータ A、B の温度変化と挿入損失との関係を示すデータである。曲線 A 1 が本発明に係るアイソレータ A の挿入損失特性を示し、曲線 B 1 が従来のアイソレータ B の特性を示している。

#### 【0057】

図 5 から明らかなように、同一の温度条件では、全温度範囲にわたって、本発明に係るアイソレータ A は、従来のアイソレータ B よりも、挿入損失が低くなり、優れた温度特性を示している。

#### 【0058】

図 6 はアイソレータ A、B について、相互変調積 IMD と 1 信号当たりの入力電力との関係を示している。曲線 A 2 が本発明に係るアイソレータ A の相互変調積特性を示し、曲線 B 2 が従来のアイソレータ B の相互変調積特性を示している。図 6 から明らかなように、本発明に係るアイソレータ A は、入力電力が同一である条件では、相互変調積 IMD が、従来のアイソレータ B より、17～18 (dBc) も小さくなっている。しかも、本発明に係るアイソレータ A は、相互変調積 IMD が、約 -80 (dBc) の極めて低い値に抑制されている。

#### 【0059】

##### 実施例 5

(Y<sub>2.82</sub>C<sub>a0.2</sub>) (Fe<sub>4.83</sub>V<sub>0.05</sub>Zr<sub>0.1</sub>) O<sub>12</sub>

(x = 0.05、y = 0、z = 0.1、w = 0.02)

の組成を有する本発明に係るフェリ磁性材料を、アイソレータに使用した応用例について示す。このフェリ磁性材料の特性は、飽和磁化  $4\pi M_s$  が 1740 Gauss、キュリー温度  $T_c$  が 260℃、強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  が 15 Oe 以下であった。このフェリ磁性材料を用いて、2.0 GHz 帯分布定数型アイソレータ C を作製した。

#### 【0060】

比較のため、無置換な Y-鉄ガーネットフェライトを用いてアイソレータ D を作製した。この Y-鉄ガーネットフェライトの特性は、飽和磁化  $4\pi M_s$  が 1770 Gauss、キュリー温度  $T_c$  が 287℃、強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  が 23 (Oe) であった。

## 【0061】

図7は上述したアイソレータC、Dの温度変化と挿入損失との関係を示すデータである。曲線C1が本発明に係るアイソレータCの挿入損失特性を示し、曲線D1が従来のアイソレータDの特性を示している。図7から明らかなように、-20℃以上の温度範囲において、同一の温度条件で、本発明に係るアイソレータCは、従来のアイソレータDよりも、挿入損失が低くなる。

## 【0062】

図8はアイソレータC、Dについて、相互変調積IMDと1信号当たりの入力電力との関係を示している。曲線C2が本発明に係るアイソレータCの相互変調積特性を示し、曲線D2が従来のアイソレータDの相互変調積特性を示している。

## 【0063】

図8から明らかなように、本発明に係るアイソレータCは、入力電力が同一の条件では、相互変調積IMDが、従来のアイソレータDより、8～10（dBc）も小さくなっている。しかも、本発明に係るアイソレータCは、相互変調積IMDが、約-76～-78（dBc）の極めて低い値に抑制されている。

## 【0064】

図9は非可逆回路素子の分解斜視図、図10は図9に示した非可逆回路素子の断面図である。図示された非可逆回路素子は、分布定数型アイソレータであって、中心導体1と、マグネット4と、フェリ磁性体21、22とを含む。フェリ磁性体21、22は、本発明に係る材料で構成されている。フェリ磁性体21、22は、中心導体1の上下に2個配置されているが、1個の場合もあり得る。

## 【0065】

マグネット4は、フェリ磁性体21、22及びストリップ導体1に直流磁界を印加する。マグネット4は、フェリ磁性体21、22の両側に2個設けてもよい。ヨーク5、6は、マグネット4と磁氣的に結合される。図示の例では、ヨーク5、6は、フェリ磁性体21、22、中心導体1、アース導体31、32及びマグネット4を覆う外装ケースとしても兼用されている。

## 【0066】

基板 7 は、非可逆回路素子の動作に必要なコンデンサ及び抵抗等を有する。基板 7 は孔 7 1 を有しており、フェリ磁性体 2 2 はこの孔 7 1 内に配置されている。参照符号 8 は整磁板、参照符号 9、1 1 は磁極板、参照符号 1 0 はスペーサを示す。実施例は、分布定数型の非可逆回路を示しているが、集中定数型または基板型の非可逆回路素子であってもよい。これらの具体的構造は、当業者に周知であるので、図示は省略する。

#### 【0 0 6 7】

図 1 1 は図 9、1 0 に示したアイソレータの使用状態における等価回路図を示し、端子 a - b 間に端子間容量 C 1 1 を接続し、端子 b - c 間に端子間容量 C 1 2 を接続し、端子 c - a 間に端子間容量 C 1 3 を接続するとともに、端子 a、b、c のそれぞれに接地容量 C 0 1、C 0 2、C 0 3 をそれぞれ接続した回路が得られる。

#### 【0 0 6 8】

図 9 ～図 1 1 に示した非可逆回路素子は、本発明の適用できる 1 例に過ぎない。本発明は、種々のタイプの非可逆回路素子、即ち、アイソレータ及びサーキュレータに適用し、その相互変調積 IMD を低下させると共に、温度特性を改善できる。

#### 【0 0 6 9】

##### 【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば次のような効果を得ることができる。

(a) 十分な直流磁場を印加できない場合であっても、相互変調積を低い値に抑制し得る制御方法、この方法を実施するのに好適なフェリ磁性材料、及び、これを用いた非可逆回路素子を提供することができる。

(b) 非可逆回路素子の小型化及び薄型化に有効な相互変調積の制御方法、この方法を実施するのに好適なフェリ磁性材料、及び、これを用いた非可逆回路素子を提供することができる。

(c) 温度特性に優れた安価なフェリ磁性材、及び、非可逆回路素子を提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

非可逆回路素子におけるマグネットによる直流磁場の強さと、相互変調積 I M D との関係を示す図である。

## 【図 2】

Y - A 1 - 鉄ガーネットフェライトにおける気孔率と強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  との関係を示している。

## 【図 3】

気孔による寄与分  $\Delta H_p$  と相互変調積 I M D との関係を示す図である。

## 【図 4】

Z r 置換量の異なる試料における相互変調積 I M D の電力依存性を示す特性図である。

## 【図 5】

アイソレータにおける温度変化と、挿入損失との関係を示すデータである。

## 【図 6】

アイソレータの相互変調積 I M D の電力依存性を示す図である。

## 【図 7】

アイソレータにおける温度変化と、挿入損失との関係を示す別のデータである。

## 【図 8】

アイソレータにおける相互変調積 I M D の電力依存性を示すデータである。

## 【図 9】

本発明に係る非可逆回路素子の分解斜視図である。

## 【図 10】

図 9 に示した非可逆回路素子の断面図である。

## 【図 11】

図 9、10 に示したアイソレータの使用状態における等価回路図である。

## 【符号の説明】

1	中心導体
21、22	フェリ磁性体

3 1、3 2

アース導体

4

マグネット

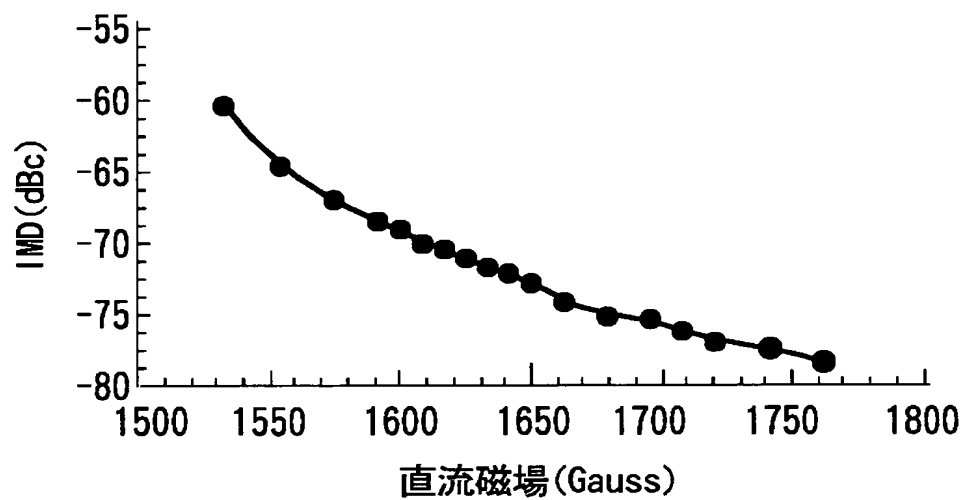
5、6

ヨーク

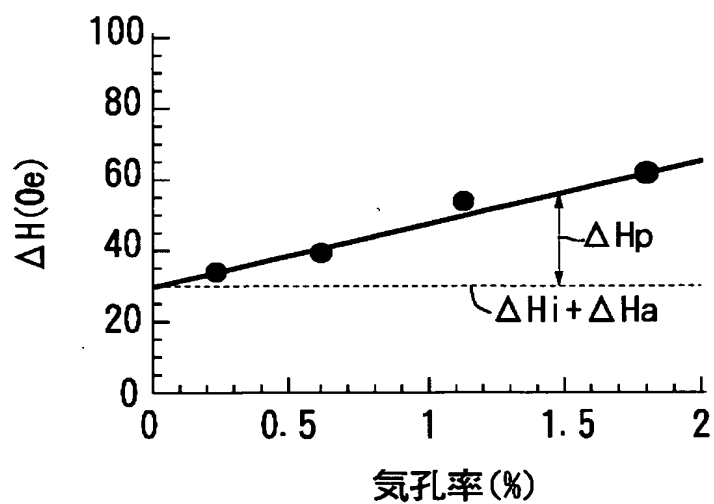


【書類名】 図面

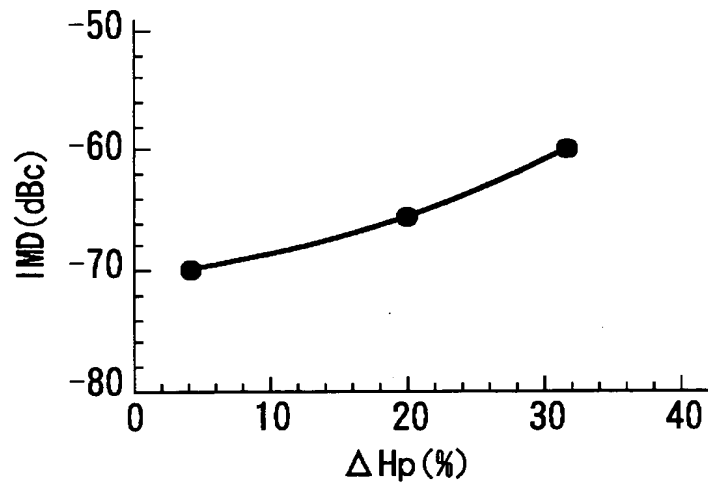
【図 1】



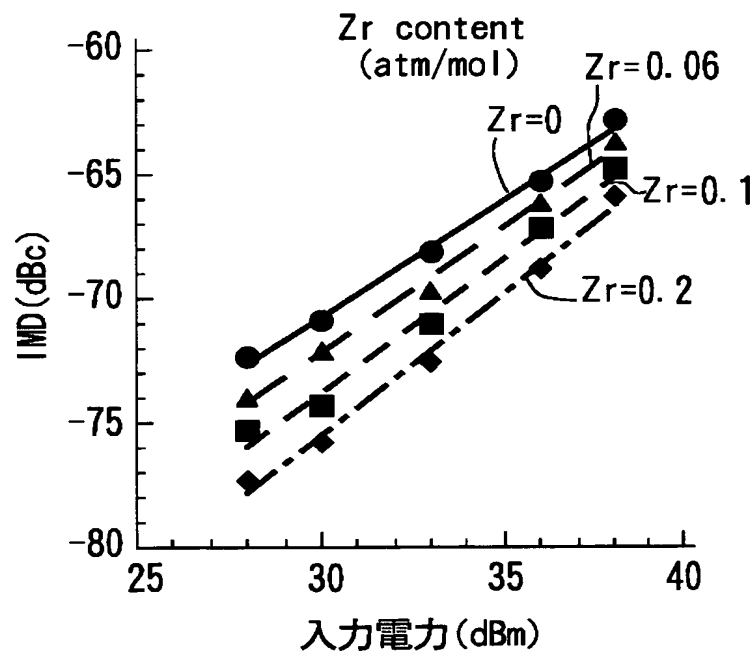
【図 2】



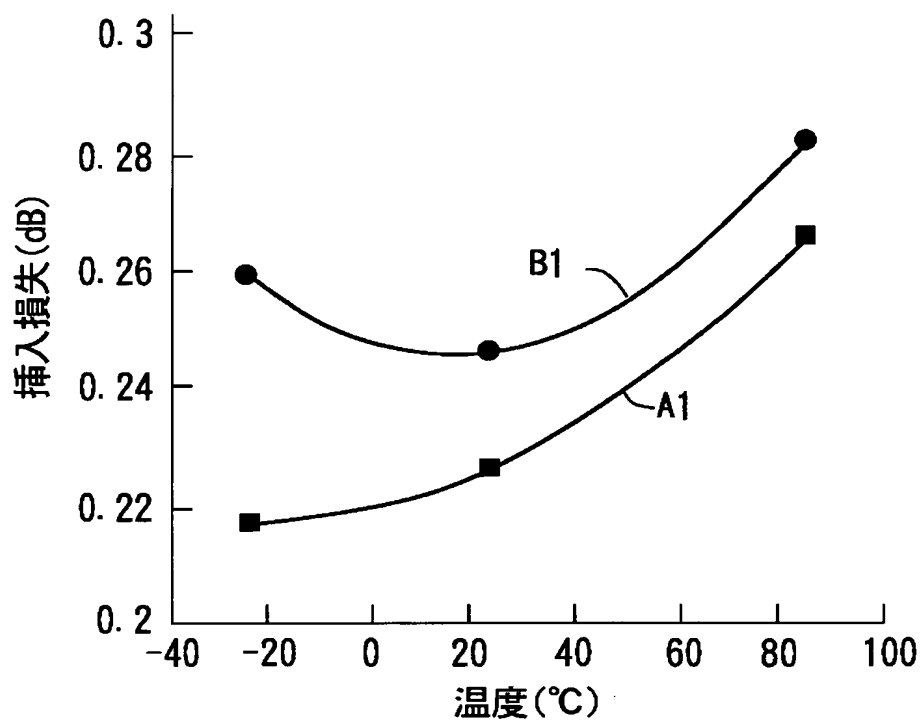
【図 3】



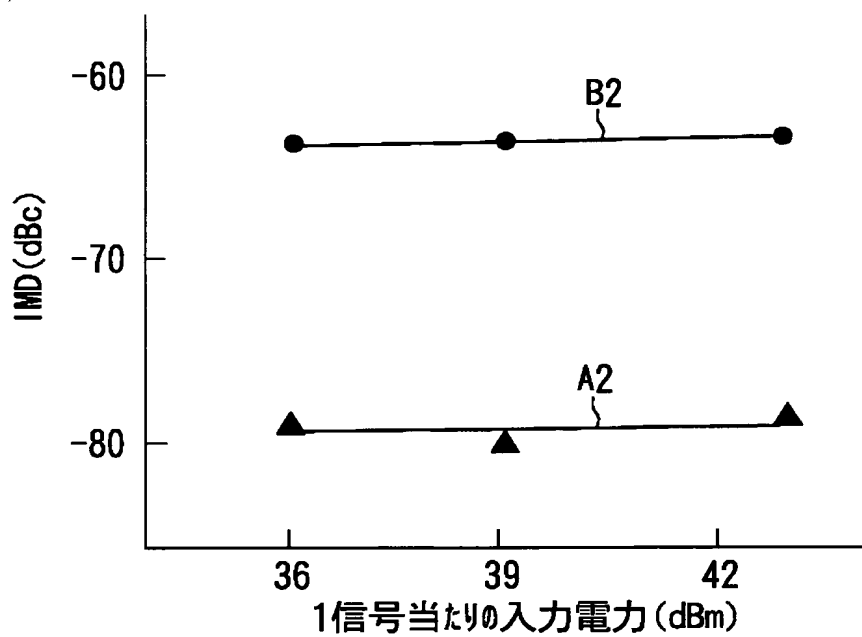
【図 4】



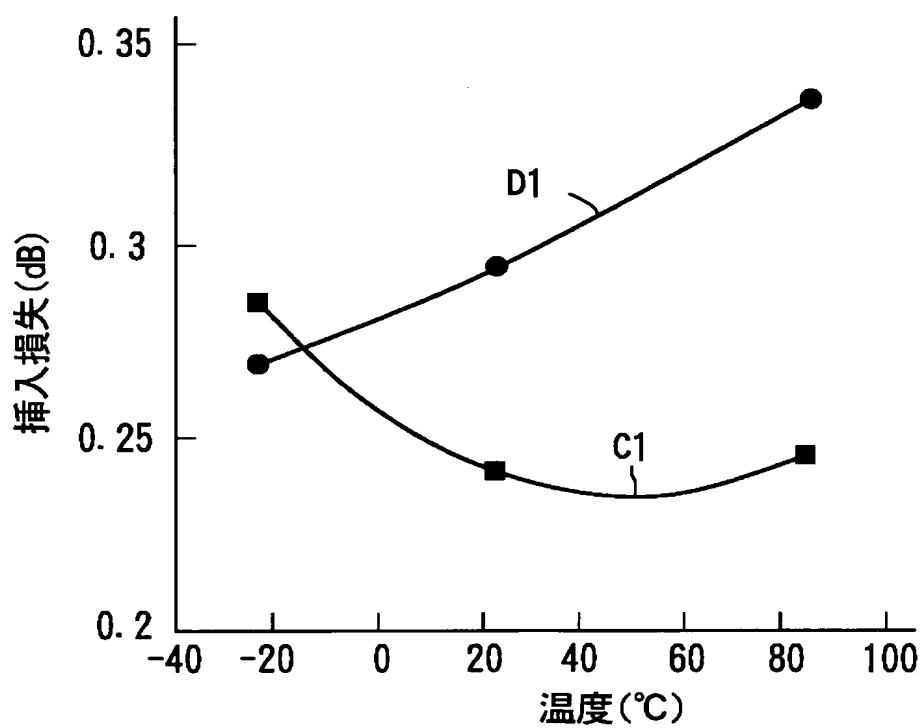
【図 5】



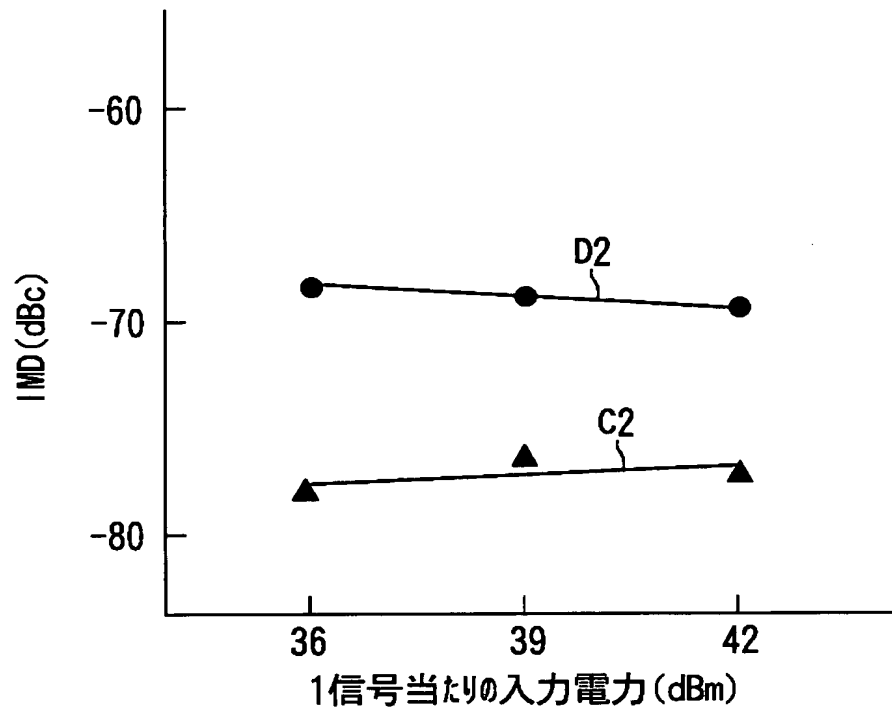
【図 6】



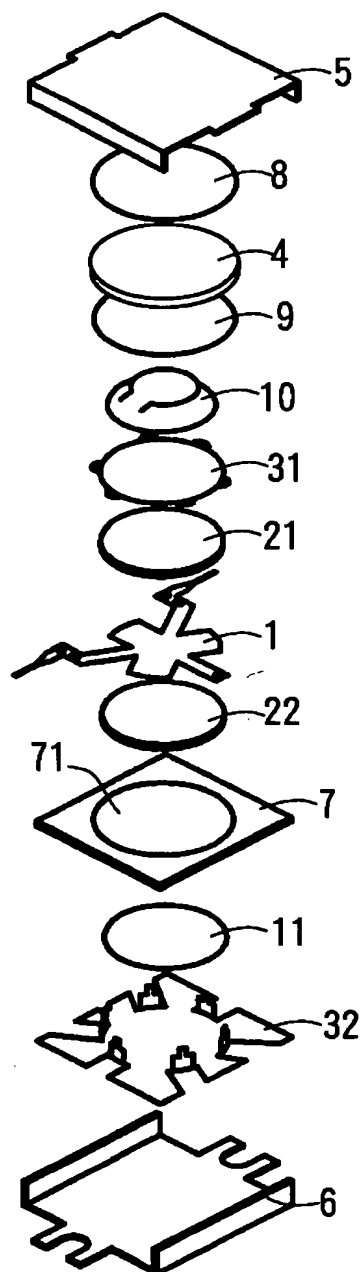
【図 7】



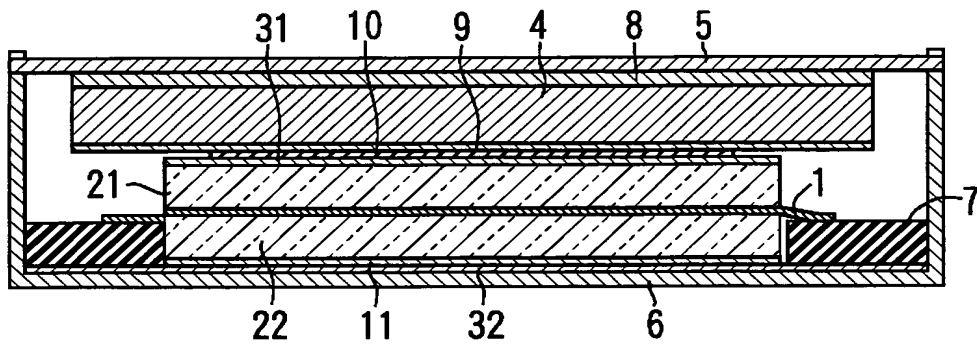
【図 8】



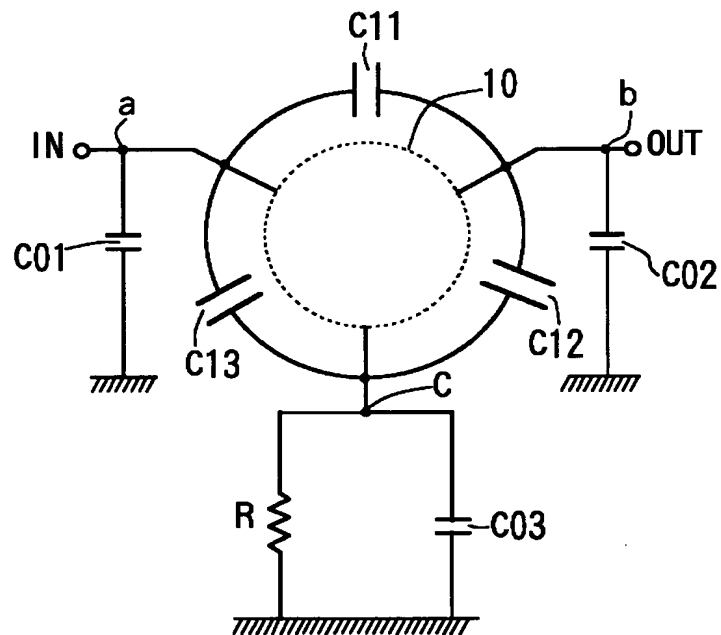
【図 9】



【図 1 0】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 非可逆回路素子の小型化及び薄型化に有効な相互変調積の制御方法を提供する。

【解決手段】 非可逆回路素子は、少なくとも 1 つのフェリ磁性体 2 1、2 2 を含んでいる。フェリ磁性体 2 1、2 2 の強磁性共鳴半値幅  $\Delta H$  を制御することによって、相互変調積 IMD を制御する。

【選択図】 図 9



特願平 1 1 - 0 1 7 2 5 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 3 0 6 7 ]

- |          |                          |
|----------|--------------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 0 年 8 月 3 0 日      |
| [変更理由]   | 新規登録                     |
| 住 所      | 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 |
| 氏 名      | ティーディーケー株式会社             |
|          |                          |
| 2. 変更年月日 | 2 0 0 3 年 6 月 2 7 日      |
| [変更理由]   | 名称変更                     |
| 住 所      | 東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号 |
| 氏 名      | T D K 株式会社               |